

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.06.023

水分调控对麦茬棉产量和水分利用效率的影响^{*}

申孝军 孙景生 张寄阳 高阳 王景雷 刘浩

(中国农业科学院农田灌溉研究所, 新乡 453002)

摘要:为研究麦后移栽棉对水分调控的响应,于2012年6月~2012年10月通过人工控水试验研究了水分供应对麦后移栽棉生长、产量和品质的影响。小区试验结果表明,蕾期轻度水分亏缺花铃期充分灌水处理(T2)的籽棉产量、成铃数以及单铃质量均为最大,但蕾期和花铃期轻度水分胁迫处理(T4)的产量与处理T2差异不显著,但水分利用效率和灌溉水利用效率分别提高了23.93%和34.01%;管栽试验结果表明,对照处理(T7)的单株成铃数的收获籽棉产量均最高,与对照处理相比,全生育期轻度水分胁迫处理(T8)减产3.98%,水分利用效率和灌溉水利用效率分别提高了9.70%和20.02%;桶栽试验结果表明,灌水定额为1.6倍 E_{Tp} 处理(T11)的籽棉产量和单株成铃数均最高,与处理T11相比,灌水定额为1.3 E_{Tp} 处理(T12)的籽棉产量仅降低了9.7%,而灌水定额为1.0 E_{Tp} 处理(T13)的籽棉产量降低了30%。说明适宜的水分胁迫(灌水下限为60%~65%FC,灌水上限为80%~85%FC)有利于麦后移栽棉的高产和水分利用效率的提高。

关键词:棉花 产量 水分调控 水分利用效率

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0150-11

引言

麦茬棉又称麦后移栽棉,即前茬小麦收获后,棉花育苗移栽的一种栽培方式。与传统麦后直播相比,麦后移栽棉有效弥补了棉花生育期和积温的不足,从而提高了麦茬棉的产量和品质。为缓解粮棉争地争季节日益凸显的矛盾,特别是随着工厂化育苗和机械化移栽技术的日益成熟,中国部分棉区特别是黄淮海棉区,棉花种植推行麦后移栽短季棉连作模式,可在充分利用耕地和光热资源,提高复种指数,实现粮、棉双高产,改善品质的前提下,提高农户经济效益^[1-4]。

棉田水分管理对棉花的优质高产具有十分重要的意义。良好的水分环境和栽培措施可以使棉花维持较高的根系活力和叶片生理活性,延缓衰老进程,同时促进叶片制造更多的光合产物优先向生殖器官运输、提高产量和改善品质^[5-6]。不同时期不同程度的水分胁迫均会影响棉花的生长和产量以及品质的形成^[7-12]。近年来有关麦后移栽棉的研究大多集中于丰产栽培技术^[13-14]以及麦后移栽棉生理生态特性^[15-16]研究,有关麦后移栽棉高效灌溉模式及

相应灌溉指标特别是麦后移栽棉生长、产量和品质对水分调控响应过程的研究报道还相对较少。本文在避雨条件下通过盆栽、管栽和小区试验研究不同水分处理对棉花生长、产量、品质及水分利用效率的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2012年6月~2012年10月在中国农业科学院农田灌溉研究所作物需水量试验场(113°53'E、35°19'N,海拔73.2m)防雨棚下进行,下雨时关闭防雨棚隔绝自然降水,天晴时打开防雨棚。试验区多年平均气温14.1℃,无霜期210d,日照时数2398.8h;光热资源丰富,以一年两熟耕作制度为主;多年平均降雨量为582mm,7~9月占全年降水量的65%~75%,其他月份降水偏少;多年平均蒸发量2000mm。试验区麦后移栽棉生长季(6~10月份)多年平均气温22.92℃,日照时数1039.82h;多年平均降雨量为430.88mm。试验地土质为砂壤土,1m土层平均土壤容积密度为1.38g/cm³,田间持水量为24%(质量含水率),地下水埋深大于5m。

收稿日期:2013-12-06 修回日期:2014-02-20

^{*} 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA100502)、现代农业棉花产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-18-19)和公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203077)

作者简介:申孝军,助理研究员,博士,主要从事灌溉原理与技术研究,E-mail:shenxiaojun8003@163.com

通讯作者:孙景生,研究员,博士生导师,主要从事节水灌溉原理与农业水资源高效利用研究,E-mail:jshsun623@aliyun.com

试验品种为中棉50,委托中国农业科学院棉花所育苗,小麦收获后于6月9日开小沟移栽,采用等行距种植模式(行距60 cm、株距25 cm),种植密度6.75万株/hm²。依据所使用品种的推荐施肥量,棉花移栽前施底肥三元复合肥(N、P、K质量分数均为15%)和硫酸钾(K质量分数为50%)分别为375、90 kg/hm²,蕾期追施三元复合肥(N、P、K质量分数均为18%)300 kg/hm²和尿素(N质量分数为46%)150 kg/hm²。

1.2 试验设计

小区(小区面积为2 m×8 m,各小区间有40 cm宽的土埂,每小区棉花留苗108株,为防止灌溉水分测渗影响棉花根区水分,各处理间设有保护行)试验时棉花缓苗期、苗期和吐絮期不做水分处理,蕾期(7月5日~7月26日)和花铃期(7月27日~9月6日)均设3个灌水水平,灌水控制下限(蕾期和花铃期的计划湿润层分别为0~60 cm和0~100 cm)分别为45%~50%、60%~65%和75%~80%田间持水率(Field moisture capacity, FC),共6个水分处理(表1),各处理顺序排列,处理之间均设有保护行。当计划湿润层土壤含水率达到或接近灌水限时开始灌水,灌水方式为畦灌,灌水量由水表计量。

表1 小区试验灌水方案
Tab.1 Water treatment design

处理	灌水下限/%		灌水定额/mm	
	蕾期	花铃期	蕾期	花铃期
T1	75~80	60~65	50	80
T2	60~65	75~80	50	80
T3	45~50	60~65	50	80
T4	60~65	60~65	50	80
T5	60~65	45~50	50	80
T6	75~80	45~50	50	80

管栽试验管用0.7 mm镀锌铁皮卷制而成,管长100 cm,上下口直径均为60 cm,下不封底,地下埋深95 cm,地表预留5 cm左右。为保证桶内土壤为原状土,通过挖土柱将铁皮桶按要求埋设。移栽前通过回填过筛土确保管壁内侧与土壤接触密实,在管中央预埋水分监测管1根。根据管内土壤墒情适时移栽,每根管内移栽棉花2株。缓苗期不做水分处理,苗期至吐絮期共设4个水分处理,灌水控制下限为计划湿润层土壤平均相对含水率(占田间持水率的百分数)的80%(T7)、60%(T8)、50%(T9)和40%(T10),灌水上限分别为100%(T7)、80%(T8)、90%(T9)和60%(T10)田间持水率。苗期、蕾期、花铃期和吐絮期的计划湿润层深度分别为地表下0~40、0~60、0~100和0~80 cm。各处理重

复4次。为了保证相同的肥力,所有处理施肥量和施肥时间与小区试验完全相同。

盆栽试验用盆为普通塑料水桶(上口直径、下口直径以及高分别为30、22和27 cm)。试验前分层填装育苗基质至距上边缘5 cm,随后进行移栽,每桶内移栽1株。移栽后立即灌水2.5 L/桶。为提高桶栽棉花根系透气性,在桶壁两侧距桶底5 cm处对称打口径1 cm小孔2个。缓苗期不做水分处理,苗期、蕾期、花铃期和吐絮期的灌水周期分别为4~10 d、3~7 d、2~5 d和4~10 d(具体天数根据棉花长势和天气情况而定,各处理灌水时间相同),灌水定额分别为1.6(T11)、1.3(T12)、1.0(T13)、0.7(T14)和0.4(T15)倍的 E_{Tp} (E_{Tp} 为20 cm恒水位蒸发皿两次灌水间隔期间的累积水面蒸发量)。共设5个处理,各处理重复3次。

1.3 观测项目与方法

1.3.1 土壤含水率

桶栽试验每隔2~10 d利用称量法测量各桶的质量,进而利用水量平衡方程并考虑棉花生长量计算不同时期各处理棉花的耗水过程;小区和管栽试验每隔3~7 d利用TDR结合取土干燥法观测土壤含水率变化,灌水前后加测。利用干燥法分层(0~10、10~20和20~30 cm)测定0~30 cm土层土壤质量含水率,利用TDR分层(30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90和90~100 cm)测定管内30~100 cm土层的土壤体积含水率,根据 $\theta_v = \gamma\theta_m$ (θ_m 、 θ_v 和 γ 分别为土壤质量含水率、土壤体积含水率和土壤容积密度)分层求得0~30 cm各层的体积含水率;各生育阶段始末利用干燥法对仪器进行标定。

1.3.2 形态指标

从棉花7叶期(长出7片真叶)开始每隔7~20 d利用精度1 mm的直尺测量棉花株高,同时利用千分尺测量基部茎粗;每隔7~15 d记录一次棉花果枝树、蕾、铃、花数目;小区试验每隔7~20 d分叶、茎、蕾(铃或花)测定一次生物量;全生育期内连续记录棉花生育进程的起始日期。

1.3.3 田间测产

棉花吐絮后各处理单独分批采收晾干后用精度1 g的电子天平称量,籽棉产量以实收产量测算,折合为每公顷产量。

1.3.4 棉纤维品质

收获时各处理分批选样,送农业部棉花品质监督检验测试中心采取HVICC(High volume instrument calibration cotton)标准测定棉纤维长度、整齐度指数、马克隆值、伸长率、断裂比强度等品质

指标。

1.3.5 气象指标

利用距试验地 100 m 左右的小型气象站观测常规气象资料,同时利用课题组研发的恒水位水面蒸发皿^[17]观测棉花生育期内的水面蒸散过程。

1.3.6 数据处理方法

用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据计算和作图,用 DPS 统计分析软件进行数据差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理对棉花生长发育的影响

2.1.1 棉花株高

棉花株高对土壤水分的反应比较敏感。图 1 给出了不同水分处理对小区棉花株高生长过程的影响。不同水分处理株高的生长过程都符合 Logistic 曲线方程,利用 DPS 数据处理系统对处理 T4 的数据进行拟合,回归方程为

$$y = 101.8763 / (1 + \exp(4.5075 - 0.106842x))$$

观测值数据点和拟合曲线高度吻合、决定系数 R^2 值较大(0.975),回归方程统计检验达到极显著水平($p < 0.01$)。图 1a 表明,当棉花进入花铃期之

前,只有 T1 和 T6 两个处理棉花株高最小,其他处理在此阶段棉花株高差异不大。主要是由于在棉花蕾期,土壤含水率始终保持在较高水平(计划湿润层土壤含水率保持在 75% FC 以上),水足、气少的土壤水气环境不利于根系吸水。当棉花进入花铃期后,随着气温的升高,植株生长速度加快,花铃期较高灌水控制下限的处理 T2 (75% ~ 80%) 和 T4 (60% ~ 65%),土壤水分可以充分满足植株的生长,其株高最大;处理 T6 全生育期棉花株高始终最小,处理 T3 和 T5 株高大致相同;数据统计分析结果表明,处理 T2 和处理 T4 之间差异不显著,但与处理 T6 的差异达极显著水平。图 1b 表明,当棉花进入花铃期之前,各处理棉花株高基本相当,处理间的差异均未达到显著水平,但当棉花进入花铃盛期(8 月 7 日 ~ 8 月 25 日)后,处理 T7 棉花株高明显大于其他处理,与处理 T9 和 T10 差异均达显著水平,与处理 T8 差异不显著。说明,在一定土壤湿度范围内,棉花株高随着土壤湿度的增加而变大。图 1c 表明,棉花进入花铃盛期后,处理 T11 棉花株高明显大于其他处理,处理 T12 次之;处理 T14 和 T15 之间株高差异不明显,并且其株高最小。

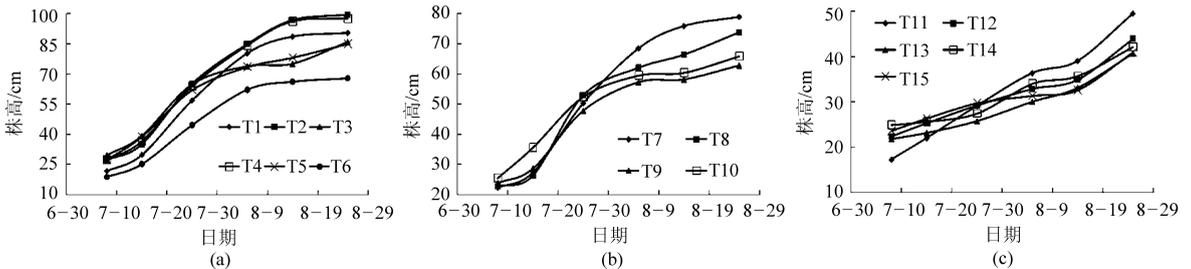


图 1 不同水分处理对棉花株高的影响

Fig. 1 Effect of different irrigation treatment on plant height of cotton

(a) 小区试验 (b) 管栽试验 (c) 盆栽试验

2.1.2 棉花茎粗

茎粗是反映植物生长状况的重要指标之一,从生理学角度讲,植物器官体积的变化与体内水分有关。图 2 给出了不同水分处理条件下棉花茎粗的变化过程。从图 2a 可以看出,不同水分处理对棉花茎

粗的生长均有影响,统计分析结果表明,处理 T4 与 T2 之间棉花茎粗差异不显著,处理 T2、T4 棉花茎粗与处理 T6 之间的差异达显著水平;处理 T6 棉花茎粗变化对水分亏缺的反应非常敏感,随着土壤含水率的降低,茎生长速度明显减慢,棉花茎粗全生育均

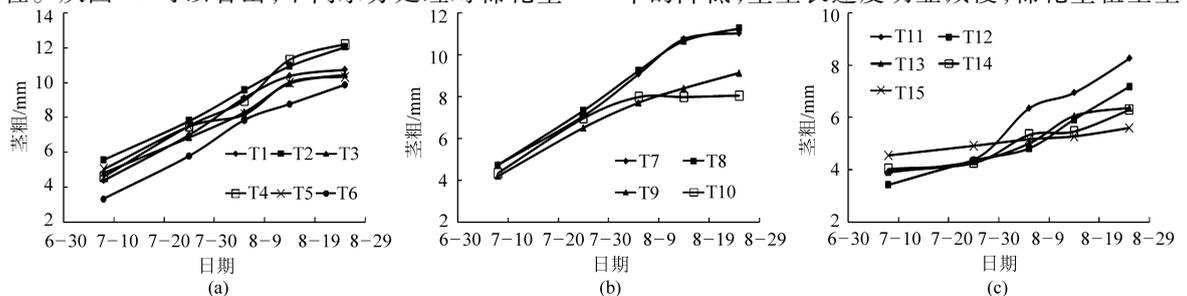


图 2 不同水分处理对棉花茎粗的影响

Fig. 2 Effect of different irrigation treatment on stem diameter of cotton

(a) 小区试验 (b) 管栽试验 (c) 盆栽试验

最小。由图 2b 可以看出,棉花的茎粗随着土壤湿度的增加并不呈正相关关系,当棉花进入花铃期的时候(7月27日),处理 T7 和 T8 棉花茎粗增长速率明显高于处理 T9 和 T10,处理 T10 棉花茎粗最小,处理 T9 次之。图 2c 给出了不同水分处理对盆栽处理棉花茎粗的影响,各处理棉花茎粗的变化与图 3c 棉花叶面积变化规律相似,处理 T11 棉花茎粗自棉花进入花期开始明显大于其他处理,处理 T12 棉花茎粗次之,处理 T15 棉花茎粗最小。

2.1.3 棉花叶面积

叶片是作物耗水和进行光合作用的主要场所。由图 3 可以看出,不同处理下棉花叶面积生长趋势基本一致,苗期由于植株个体矮小,叶片数较少,叶面积指数也较小;进入蕾期后,叶面积生长速率明显加快,植株生长旺盛,叶片数增多,叶面积增大,并于花铃期达到最大,此后,由于群体趋于封闭,下部叶片接受光照越来越少,加之植株逐渐衰老,下部叶片逐渐黄化和脱落,总叶面积逐渐变小。

由图 3a 可以看出,处理 T2 棉花叶面积最大,其次是处理 T4;花铃期由于受到水分胁迫的影响,处

理 T5 和 T6 棉花叶面积最小。统计分析结果表明,花铃期处理 T4 叶面积与处理 T2 之间的差异不显著,但与其他处理之间的差异均达到显著水平,且与处理 T3、T5 和 T6 之间的差异达极显著水平。图 3b 表明,当棉花进入花铃期以后,棉花叶面积随着土壤湿度的增加而增加,但并非线性相关,处理 T7 土壤水分一直保持 80% ~ 100% FC,棉花叶面积最大,处理 T8 土壤水分保持在 60% ~ 80% FC,但叶面积与处理 T7 基本相当,统计分析结果表明,处理 T7 与 T8 之间差异不显著,但与处理 T9 和 T10 的差异均达显著水平,说明过湿的土壤水分会导致水多、气少的水气环境,从而阻碍根系吸水,不利于作物生长。图 3c 给出了不同水分处理对盆栽处理棉花叶面积的影响,处理 T11 棉花叶面积从花铃期就开始明显大于其他处理,并在花铃末期出现最大值,处理 T15 棉花叶面积始终最小。说明随着灌水定额的降低,棉花叶面积也随之减小,即各处理叶面积大小依次为:T11、T12、T13、T14、T15。统计分析结果表明,处理 T11 与 T13 之间的差异显著,与处理 T14、T15 间的差异均达极显著水平,但与处理 T12 之间的差异不显著。

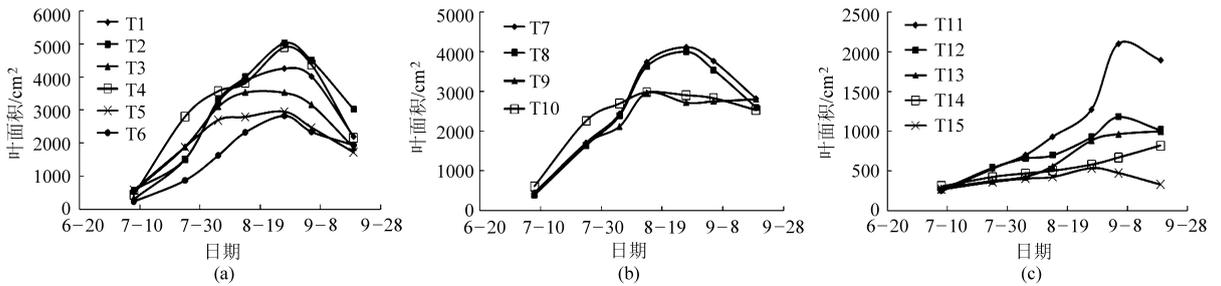


图 3 不同水分处理对棉花叶面积的影响

Fig. 3 Effect of different irrigation treatment on leaf area of cotton

(a) 小区试验 (b) 盆栽试验 (c) 盆栽试验

2.1.4 棉铃脱落

一般而言,棉花叶片数越多,叶面积越大,越易进行光合作用,光合产物积累越多越易增强根系活力和吸收养分的能力,加快棉铃发育提高成铃率。图 4 给出了不同水分处理对棉花蕾铃脱落率(指至

调查日期各处理单株蕾、铃、花脱落与单株果节数的比值)的影响。从图 4a 可以看出,随着花铃期进程的推进,各处理的棉铃脱落率呈上升趋势,其中处理 T2 的脱落率最小,处理 T5 脱落率最大,数据统计分析发现,处理 T5 与 T6 之间的差异不显著,与处理

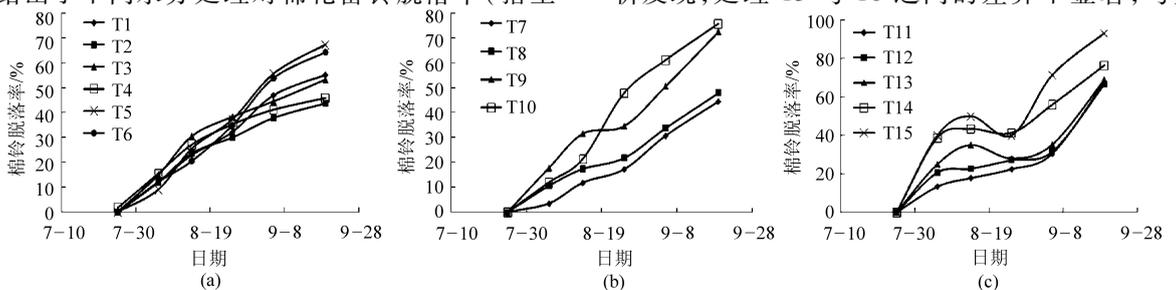


图 4 不同处理对棉花棉铃脱落的影响

Fig. 4 Effect of different irrigation treatment on number of reproductive organs abscission

(a) 小区试验 (b) 盆栽试验 (c) 盆栽试验

T1 达显著水平,与处理 T2、T3 和 T4 之间差异均达显著水平。从图 4b 可以看到,棉铃脱落率随着灌水控制下限的下降而升高,高水分处理 T7 棉铃脱落率最低,而低水分处理 T10 棉铃脱落率最高,统计分析结果表明,处理 T10 与处理 T9 差异不显著,与处理 T8 和 T7 之间的差异均达显著水平。从图 4c 可以看到,处理 T14 和 T15 由于持续小定额灌水,使棉花受到严重的水分胁迫,棉铃脱落率最高,而高水分处理 T11 和 T12 的棉铃脱落率均较低,而且棉铃脱落率随着亏水程度的加重呈加重趋势,统计分析结果表明,处理 T15 与处理 T11、T12、T13 和 T14 的差异均达到显著水平,且与处理 T11 和 T12 的差异达极显著水平,但处理 T11 和 T12 之间的差异不显著。

2.2 不同水分处理对麦后移栽棉产量的影响

不同水分处理麦后移栽棉籽棉产量及产量构成因子(表 2)表明,棉花籽棉产量以及成铃数、单铃质量、衣分等均随着水分处理的不同而存在不同程度的差异。小区试验(处理 T1 ~ T6)结果表明,蕾期轻度水分亏缺(灌水下限为 60% ~ 65% FC)花铃期充分灌水(灌水下限为 75% ~ 80% FC)处理(T2)的籽棉产量、成铃数以及单铃重均为最大,蕾期充分灌水(灌水下限为 75% ~ 80% FC)花铃期重度水分亏缺(灌水下限为 45% ~ 50% FC)处理(T6)的籽棉产量、成铃数以及单铃重均为最小,其他处理介于两者之间;处理 T4 全生育期轻度水分亏缺(灌水下限为 60% ~ 65% FC)产量和单株成铃数虽略低于处理 T2,且差异未达到显著水平,但均高于其他处理,而且处理间差异达显著水平;同时可以看到,棉花衣分随着水分亏缺呈提高趋势。管栽试验结果表明,处理 T7 和处理 T8 的籽棉产量和单株成铃数基本相当,处理 T7(全生育期土壤水分保持在 80% ~ 100% FC)略高于处理 T8(全生育期土壤水分保持在 60% ~ 80% FC),但处理间差异不显著,而处理 T9(全生育期计划湿润层土壤湿度保持在 50% ~ 90% FC)和处理 T10(全生育期计划湿润层土壤湿度保持在 40% ~ 60% FC)的籽棉产量均远小于处理 T8。盆栽试验结果表明,处理 T11(全生育期灌水定额均为 $1.6 E_{Tp}$)的籽棉产量和单株成铃数均高于处理 T12(全生育期灌水定额均为 $1.3 E_{Tp}$),但处理间差异不显著,处理 T13(全生育期灌水定额均为 $1.0 E_{Tp}$)的籽棉产量和单株成铃数均低于处理 T12,但处理间差异不显著,处理 T13、处理 T14(全生育期灌水定额均为 $0.7 E_{Tp}$)和处理 T15(全生育期灌水定额均为 $0.4 E_{Tp}$)的籽棉产量均远小于处理 T11,统计分析结果表明处理间差异达显著水平。

表 2 不同水分处理棉花产量及构成因子

Tab.2 Yield and its constitution factors of transplanted cotton following wheat harvest in different water treatments

处理	籽棉产量/ (kg·hm ⁻²)	成铃数	单铃 质量/g	衣分/ %	
小区	T1	3 135.29 ^{bc}	9.60 ^{ab}	4.89 ^{ab}	0.38 ^{cd}
	T2	3 500.29 ^a	10.80 ^a	5.10 ^a	0.37 ^c
	T3	3 052.65 ^c	9.30 ^b	4.75 ^{bc}	0.38 ^a
	T4	3 439.99 ^{ab}	10.70 ^a	4.46 ^{bc}	0.38 ^{bc}
	T5	2 640.41 ^d	9.00 ^c	4.08 ^{de}	0.38 ^{ab}
	T6	2 622.54 ^{de}	8.40 ^d	4.23 ^d	0.39 ^a
管栽	T7	3 252.21 ^a	10.27 ^a		0.39 ^{cd}
	T8	3 122.72 ^{ab}	9.67 ^a		0.41 ^{ab}
	T9	2 661.93 ^c	8.33 ^b		0.39 ^{bc}
	T10	1 579.80 ^d	5.70 ^c		0.42 ^a
盆栽	T11	1 532.43 ^a	5.90 ^a		
	T12	1 382.78 ^{ab}	5.10 ^{ab}		
	T13	1 040.36 ^{bc}	4.30 ^{bc}		
	T14	568.20 ^d	2.50 ^d		
	T15	277.09 ^{de}	1.00 ^e		

注:a、b、c 不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

2.3 不同水分处理对麦后移栽棉耗水量的影响

2.3.1 棉花生育期内参考作物需水量

Penman - Monteith 方法是目前计算作物蒸发蒸腾量的首选方法,是因为这一方法以能量平衡和水汽扩散理论为基础,既涉及了作物的生理特征对蒸腾作用的影响,又涉及了空气动力学参数的变化,具有较充分的理论依据和较高的计算精度。为了使参考作物需水量 E_{T0} 的计算公式统一化、标准化,FAO 给出了参考作物需水量的新定义,即:参考作物需水量为一种假想的参考作物冠层的腾发速率。假设作物高度为 0.12 m,固定叶面阻力为 70 s/m,反射率为 0.23,非常类似于表面开阔,高度一致,生长旺盛,完全遮盖地面而不缺水的绿色草地的蒸发蒸腾量,其计算公式为

$$E_{T0} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

式中 E_{T0} ——参考作物蒸散量,mm

Δ ——饱和水汽压-气温关系曲线斜率

R_n ——冠层表面净辐射,MJ/m²

G ——土壤热通量,当以天为单位计算时,土壤热通量可忽略,MJ/m²

γ ——湿度计常数,kPa/°C

T ——平均气温,°C

U_2 ——2 m 高度处风速,m/s

e_s ——饱和水汽压,kPa

e_a ——实际水汽压,kPa

根据气象站实测气象资料,利用式(1)计算棉

花生育期内的参考作物需水量(图 5),从图 5 可以看出,参考作物需水量在整个生育期内随生育阶段的推移有逐渐减小的变化趋势,苗期(6月6日~7月4日) E_{T_0} 为 153.53 mm,日平均值为 5.29 mm/d;蕾期(7月5日~7月26日) E_{T_0} 为 98.61 mm,日平均值为 4.29 mm/d;花铃期(7月27日~9月6日) E_{T_0} 为 157.55 mm,日平均值为 3.75 mm/d;吐絮期(9月7日~10月12日) E_{T_0} 为 102.74 mm,日平均值为 2.85 mm/d。

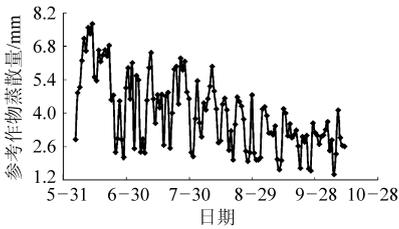


图 5 棉花生育期内参考作物蒸散量

Fig. 5 Variation process of reference crop evapotranspiration during growing season of cotton

2.3.2 麦后移栽棉生育期内耗水量

作物的耗水量是指在作物生长发育过程中植株实际的蒸腾量、棵间蒸发量以及构成作物体的水量之和。由于构成作物体的水量很少,一般忽略不计,因此作物的耗水量为植株蒸腾量与棵间蒸发量之和,耗水量采用水量平衡法计算,其计算公式为

$$E_{T_a} = I + P + U - R_f - D + W_0 - W_t \quad (2)$$

其中

$$D = M_1 + I - M_f$$

- 式中 E_{T_a} ——棉花耗水量,mm
- I ——灌水量,mm P ——降雨量,mm
- U ——地下水补给量,mm
- R_f ——地表径流量,mm
- D ——深层渗漏量,mm
- W_0 ——时段初土壤储水量,mm
- W_t ——时段末土壤储水量,mm
- M_1 ——灌水或降雨前 100 cm 土层内土壤贮水量,mm
- I ——灌水量或降雨量,mm
- M_f ——100 cm 土层内最大土壤贮水量,mm

由于试验地地下水埋深大于 5.0 m,作物无法吸收利用,故忽略地下水补给,即 $U \approx 0$;试验区内地势平坦,故无地表径流产生, $R_f \approx 0$ 。

通过对试验数据的整理分析,利用式(2)计算了不同水分处理条件下棉花阶段耗水量(表 3),从表 3 可以看到,麦后移栽棉的耗水量范围在 302.21 ~ 439.84 mm 之间,小区试验结果表明,各处理苗期耗水量和日平均耗水强度大致相同,这是由于为保证成活率,灌了相同数量的缓苗水,苗期没有水分处理,各处理土壤含水率基本相当;蕾期充分灌水处理(T1 和 T6)耗水量明显高于其他处理,水分处理对花铃期棉花耗水的影响与蕾期相一致;就全生育期耗水量而言,蕾期充分灌水花铃期适度水分胁迫处理(T1)最高,蕾期重度水分胁迫花铃期适度水分胁迫处理(T3)最低,其他处理介于两者之间,其从大

表 3 不同水分处理的棉花耗水量和耗水强度

Tab. 3 Water consumption and daily water consumption of cotton with different water treatments

项目	处理	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	全生育期
耗水量/mm	T1	83.55	95.69	200.16	60.44	439.84
	T2	79.77	79.68	206.43	66.70	432.59
	T3	82.65	61.26	142.22	44.81	330.94
	T4	76.37	81.31	146.67	38.70	343.06
	T5	84.01	85.17	132.39	35.62	337.19
	T6	77.07	109.38	126.38	57.32	370.14
	T7	70.22	108.66	232.76	50.18	461.83
	T8	72.64	90.48	195.38	45.71	404.22
	T9	75.36	79.56	172.48	50.08	377.48
	T10	69.41	52.34	137.48	42.98	302.21
耗水强度/(mm·d ⁻¹)	T1	2.88	4.35	4.77	1.68	3.41
	T2	2.75	3.62	4.91	1.85	3.35
	T3	2.85	2.78	3.39	1.24	2.57
	T4	2.63	3.70	3.49	1.08	2.66
	T5	2.90	3.87	3.15	0.99	2.61
	T6	2.66	4.97	3.01	1.59	2.87
	T7	2.42	4.94	5.54	1.39	3.58
	T8	2.50	4.11	4.65	1.27	3.13
	T9	2.60	3.62	4.11	1.39	2.93
	T10	2.39	2.38	3.27	1.19	2.34

到小的顺序依次为 T1、T2、T6、T4、T5、T3。管栽试验结果表明,棉花生育期内的耗水量以及耗水强度均随灌水控制下限的降低而减小。

从表 3 还可看到,处理 T1 ~ T3,棉花日均耗水强度的大小依次为花铃期、蕾期、苗期、吐絮期,而处理 T5 和 T6,棉花日均耗水强度的大小依次为蕾期、花铃期、苗期、吐絮期。这是因为,处理 T1 ~ T3 在棉花需水高峰期的花铃期灌水控制下限较高,棉花生长受水分胁迫较小,而处理 T5 和 T6 花铃期较低的灌水控制下限导致棉花生长受到重度水分胁迫,生长代谢减小,耗水强度降低。

2.3.3 不同水分处理条件下麦后移栽棉生育期内土壤水分胁迫系数变化规律

由于作物系数受土壤、气候、作物生长状况和管理方式等诸多因素的影响,本试验条件下选高水分处理的实测耗水量与参考作物需水量的比值计算麦后移栽棉的作物系数 K_{ci} ,计算公式为

$$K_{ci} = \frac{E_{Ti}}{E_{T0i}} \quad (3)$$

式中 K_{ci} ——第 i 阶段的作物系数

E_{Ti} ——本试验条件下,充分供水处理第 i 阶段的实际作物蒸发蒸腾量,mm/d

E_{T0i} ——第 i 阶段平均参照作物需水量,mm/d

土壤水分胁迫系数为

$$K_{si} = \frac{E_{T0i}}{E_{T0i} K_{ci}} \quad (4)$$

式中 K_{si} ——第 i 阶段的土壤水分胁迫系数

E_{T0i} ——第 i 阶段实际作物蒸发蒸腾量,mm/d

利用式(3)可以计算出小区试验条件下,麦后移栽棉苗期、蕾期、花铃期、吐絮期及全生期平均作物系数分别为 0.497、0.825、0.931、0.377 和 0.669,管栽条件下,麦后移栽棉苗期、蕾期、花铃期、吐絮期及全生期平均作物系数分别为 0.473、0.918、1.24、0.445 和 0.789。说明移栽棉生育期内参考作物系数的变化过程大致呈先增大后变小的变化过程。由于 E_{T0} 在棉花生育期内的变化过程呈逐渐降低的过程,而缓苗期生长缓慢,需水量低,吐絮期随着棉花的逐渐采摘和植株逐渐衰老,棉花耗水量较小,所以参考作物系数相对较小,在生殖与营养生长并进的蕾期和花铃期是棉花需水需肥关键期,也是需水需肥高峰期,棉花耗水量较大,所以参考作物系数也相对较大。因而,麦后移栽棉的作物系数在整个生育期内变化呈现三阶段式(快速增长阶段—稳定阶段—降低阶段),即先增大后减小的变化规律,这也符合棉花的生长发育特点。

从表 4 可以看到,苗期各处理灌水定额和灌水

量相同,水分胁迫系数无显著差异,进入蕾期后随水分处理梯度的不同,各处理土壤胁迫系数均有不同程度的变化,各处理水分胁迫系数均随着灌水下限指标的提高呈增大趋势。小区试验统计分析结果表明,蕾期充分供水处理水分胁迫系数最大,与重度亏水处理 T3 的差异达显著水平,与其他处理之间的差异不显著;与充分供水处理相比,花铃期重度水分胁迫处理土壤水分胁迫系数最小,差异达显著水平。管栽试验结果表明,充分供水处理水分胁迫系数最大,且随灌水控制下限的降低而减小,与重度亏水处理之间的差异均达显著水平。

表 4 各处理棉花不同生育阶段水分胁迫系数
Tab.4 Soil moisture stress index of transplanted cotton following wheat harvest

	处理	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	全生育期
小区	T1	1.046 ^a	1.200 ^a	0.969 ^a	0.906 ^{ab}	1.017 ^a
	T2	1.000 ^a	1.000 ^{ab}	1.000 ^a	1.000 ^a	1.000 ^a
	T3	1.035 ^a	0.769 ^c	0.689 ^{bc}	0.672 ^c	0.765 ^{bc}
	T4	0.956 ^a	1.021 ^{ab}	0.711 ^{ab}	0.581 ^c	0.793 ^b
	T5	1.052 ^a	1.069 ^{ab}	0.641 ^{cd}	0.535 ^{cd}	0.780 ^{bc}
	T6	0.965 ^a	1.373 ^a	0.612 ^d	0.860 ^{bc}	0.855 ^b
管栽	T7	1.000 ^a	1.000 ^a	1.000 ^a	1.000 ^a	1.000 ^a
	T8	1.035 ^a	0.833 ^{ab}	0.840 ^b	0.912 ^b	0.876 ^{ab}
	T9	1.074 ^a	0.732 ^c	0.741 ^c	0.998 ^{bc}	0.818 ^c
	T10	0.989 ^a	0.482 ^d	0.591 ^{cd}	0.857 ^c	0.655 ^d

2.3.4 不同处理对麦后移栽棉水分利用效率的影响

麦后移栽棉在栽培管理过程中,水分管理是决定其水分利用效率的关键。表 5 给出了不同水分处理对麦后移栽棉水分利用效率(WUE)和灌溉水利用效率(IWUE)。小区试验结果表明,各处理 WUE 从大到小的顺序依次为 T4、T3、T2、T5、T1、T6,各处理 IWUE 从大到小的顺序依次为 T4、T3、T5、T2、T6、T1,且灌溉水利用效率明显高于相同处理水分利用效率。处理 T4 的 WUE 和 IWUE 均明显高于其他处理,与处理 T2 相比,处理 T4 的籽棉产量降低了 1.72%,但节约了 26.67% 的灌溉水资源,WUE 和 IWUE 分别提高了 23.93% 和 34.01%,是比较理想的水分管理模式。管栽试验结果表明,WUE 和 IWUE 最高的处理不是充分供水的处理 T7,而是适宜供水的处理 T8,与处理 T7 相比,处理 T8 的籽棉产量降低了 3.98%,但节约了 20.00% 的灌溉水资源,WUE 和 IWUE 提高了 9.70% 和 20.02%。

3 讨论

适宜的灌溉时期和灌水量,有利于实现节水高产,过多或过少的灌水量均不利于经济产量和水分利

表5 不同水分处理麦后移栽棉水分利用效率

Tab.5 Water use efficiency of transplanted cotton following wheat harvest in different treatments

处理	籽棉产量/(kg·hm ⁻²)	耗水量/mm	灌水量/mm	WUE/(kg·m ⁻³)	IWUE/(kg·m ⁻³)	
小区	T1	3 135.29 ^{bc}	439.84	320	0.71	0.98
	T2	3 500.29 ^a	432.59	300	0.81	1.17
	T3	3 052.65 ^c	330.94	220	0.92	1.39
	T4	3 439.99 ^{ab}	343.06	220	1.00	1.56
	T5	2 640.41 ^d	337.19	210	0.78	1.26
	T6	2 622.54 ^{bc}	370.14	240	0.71	1.09
管栽	T7	3 252.21 ^a	461.83	325	0.70	1.00
	T8	3 122.72 ^{ab}	404.22	260	0.77	1.20
	T9	2 661.93 ^c	377.48	260	0.71	1.02
	T10	1 579.80 ^d	302.21	195	0.52	0.81

用效率的提高^[18],但不同地区、不同种植模式以及不同灌水方式下适宜的灌溉时期和灌水量均不相同,有研究表明,新疆滴灌棉花蕾期和花铃期适宜的灌水控制下限分别为60% FC和75% FC^[19];豫北地区棉花蕾期和花铃期适宜的灌水控制下限分别为60% FC和70% FC^[12]。本试验在人工控水条件下研究发现,全生育期控制灌水下限为60%~65% FC,蕾期和花铃期灌水定额分别为50和80 mm时,可以通过前期调控棉花植株生长,搭建棉花丰产“架子”,从而有利于后期蕾、铃的形成和生长,降低蕾铃脱落。说明,麦后移栽棉花铃期水分胁迫抑制了棉花叶片净光合速率,光合产物输出减少,同时各器官的生理活性降低,从而限制了植株对营养的吸收与积累,最终影响到经济产量和品质,而前期适度水分胁迫,花铃期恢复供水后具有一定的亏水补偿效应,在产量略有降低的前提下实现了水分高效利用;这与已有研究成果^[20-22]相类似。

根系处在淹水环境中会引起根内细胞分裂素减少,导致根系生长缓慢^[23];干旱对地上部生长的影响大于淹水,干旱胁迫条件下,棉株在生育后期地上部分早衰现象严重,导致根冠比升高^[24];不利于棉花优质高产。胡晓棠等^[25]研究发现,过高或过低的土壤湿度均不利于棉花根系的生长发育,从而影响到根系对水分以及矿物质的吸收利用,进而影响到棉花的光合产物积累与分配,最终影响到籽棉产量和棉纤维品质。本试验分别研究了80%~100% FC、60%~80% FC、40%~60% FC和50%~90% FC土壤湿度条件下棉花的生长产量和品质,结果表明,60%~80% FC的土壤湿度在一定程度上抑制了棉花植株的旺盛营养生长,在产量略有降低(3.98%)的前提下,节约了20.00%的灌溉水量,WUE和IWUE分别提高了9.70%和20.02%。

蒸发皿测量的水面蒸发量(E_{Tp})能够综合反映

气象条件,研究表明,利用水面蒸发量估算作物蒸腾量是一种方便快捷、易于操作的方法^[26],国内外学者进行了大量研究,并制定了相应的灌溉指标^[27-31],这些指标因生态环境、作物类型、灌溉方式的不同而存在一定的差异性。本试验重点研究了,相同灌水周期基于恒水位水面蒸发量的不同灌水定额对棉花产量和水分利用效率的影响,试验结果表明,灌水定额为1.6 E_{Tp} 的处理T11籽棉产量最高,与处理T11相比,灌水定额为1.3 E_{Tp} 的处理T12籽棉产量仅降低了9.7%,而灌水定额为1.0 E_{Tp} 的处理T13籽棉产量降低了30%。说明1.6 E_{Tp} 的高定额灌水不宜提高灌溉水利用效率,而1.3 E_{Tp} 的适宜灌水定额能在获得较高产量条件下大幅度提高灌溉水利用效率。

4 结论

(1)小区试验研究发现,蕾期过高的水分供应和花铃期重度水分胁迫均不利于麦后移栽棉产量和水分利用效率的提高,而全生育期适度水分胁迫处理(T4)在产量略有降低的前提下实现了水分高效利用。

(2)管栽试验研究发现,与全生育期计划湿润层土壤湿度保持在80%~100% FC处理相比,全生育期计划湿润层土壤湿度保持在60%~80% FC时,有利于麦后移栽棉株型构建,提高成铃数和棉花衣分,同时减少灌溉水投入,提高灌溉水的利用效率。

(3)桶栽试验研究发现,与充分供水处理(灌水定额为1.6 E_{Tp})相比,重度水分胁迫不利于棉花植株生长,也不利于产量的形成,而适度水分胁迫处理(灌水定额为1.3 E_{Tp})对株高、叶面积以及产量均未造成明显负面影响,而且有利于水分利用效率的提高。

参 考 文 献

- 1 毛树春,韩迎春,李亚兵,等. 棉花工厂化育苗和机械化移栽新技术[J]. 中国棉花,2008,35(3):34-36.
Mao Shuchun, Han Yingchun, Li Yabing, et al. New technology for cotton with factory nursery and mechanization of transplanting [J]. China Cotton, 2008, 35(3): 34-36. (in Chinese)
- 2 郭凤娥,郭光理,袁慧萍,等. 麦后移栽棉保优丰产增效栽培技术[J]. 农业科技通讯,2012(4):180-181.
- 3 韩迎春,毛树春,李亚兵,等. 麦后裸苗移栽短季棉连作模式关键栽培措施效应研究[J]. 中国棉花,2008,35(5):32-34.
Han Yingchun, Mao Shuchun, Li Yabing, et al. Study on key cultivation measures of cotton transplanted after wheat harvest[J]. China Cotton, 2008, 35(5): 32-34. (in Chinese)
- 4 韩迎春,毛树春,李亚兵,等. 裸苗移栽棉花产量、品质和效益分析[J]. 中国棉花,2009,36(3):9-14.
Han Yingchun, Mao Shuchun, Li Yabing, et al. Study of yield, quality and benefits of cotton transplanted after wheat harvest[J]. China Cotton, 2009, 36(3): 9-14. (in Chinese)
- 5 李友军,邹娟娟,牛凯丽,等. 不同水分和氮素形态对郑麦9023花后旗叶衰老及产量的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(4):251-256.
Li Youjun, Zhi Juanjuan, Niu Kaili, et al. Effect of different irrigation times and nitrogen forms on flag leaf senescence and yield of winter wheat zhengmai 9023[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4): 251-256. (in Chinese)
- 6 王海燕,高聚林,王志刚,等. 高密度对超高产春玉米花期叶片衰老与根系活力的影响[J]. 玉米科学,2012,20(2):75-81.
Wang Haiyan, Gao Julin, Wang Zhigang, et al. Effects of high planting density on super high-yielding spring maize leaf senescence and root activity at anthesis and kernel stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(2): 75-81. (in Chinese)
- 7 刘梅先,杨劲松,李晓明,等. 滴灌模式对棉花根系分布和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(增刊1):98-105.
Liu Meixian, Yang Jinsong, Li Xiaoming, et al. Effects of drip irrigation strategy on cotton root distribution and water use efficiency[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp.1): 98-105. (in Chinese)
- 8 罗宏海,张宏芝,陶先萍,等. 膜下滴灌条件下水氮供应对棉花根系及叶片衰老特性的调节[J]. 中国农业科学,2013,46(10):2142-2150.
Luo Honghai, Zhang Hongzhi, Tao Xianping, et al. Effect of irrigation and nitrogen application regimes on senescent characters of roots and leaves in cotton with under-mulch-drip irrigation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(10): 2142-2150. (in Chinese)
- 9 李明思,马富裕,郑旭荣,等. 膜下滴灌棉花田间需水规律研究[J]. 灌溉排水,2002,21(1):58-60.
Li Mingsi, Ma Fuyu, Zheng Xurong, et al. Cotton water requirement on field with trickle irrigation under plastic film and on field with furrow irrigation[J]. Irrigation and Drainage, 2002, 21(1): 58-60. (in Chinese)
- 10 申孝军,陈红梅,孙景生,等. 调亏灌溉对膜下滴灌棉花生长、产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2010,29(1):40-43.
Shen Xiaojun, Chen Hongmei, Sun Jingsheng, et al. Response of different water deficit on cotton growth and water use efficiency and yield under mulched drip irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(1): 40-43. (in Chinese)
- 11 俞希根,孙景生,肖俊夫,等. 棉花适宜土壤水分下限和干旱指标研究[J]. 棉花学报,1999,11(1):35-38.
Yu Xigen, Sun Jingsheng, Xiao Junfu, et al. A study on drought indices and lower limit of suitable soil moisture of cotton[J]. Acta Gossypii Sinica, 1999, 11(1): 35-38. (in Chinese)
- 12 刘浩,孙景生,张寄阳,等. 耕作方式和水分处理对棉花生产及水分利用的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(10):164-168. (in Chinese)
Liu Hao, Sun Jingsheng, Zhang Jiyang, et al. Effect of tillage methods and water treatment on production and water use of cotton [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 164-168. (in Chinese)
- 13 余隆新,荣义华,张教海,等. 麦后移栽棉生产现状及技术对策[J]. 湖北农业科学,2009,48(11):2682-2684.
Yu Longxin, Rong Yihua, Zhang Jiaohai, et al. The production status and countermeasures of in transplanted cotton following wheat harvest[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009, 48(11): 2682-2684. (in Chinese)
- 14 戴茂华,刘丽英,吴振良. 麦后移栽棉的效果及高产优质栽培技术[J]. 农技服务,2010,27(5):566.
Dai Maohua, Liu Liying, Wu Zhenliang. The effect and cultivation techniques for high yield and fine quality of intrasplanted cotton following wheat harvest[J]. Agricultural Technology Service, 2010, 27(5): 566. (in Chinese)
- 15 刘浩,张寄阳,王聪聪,等. 麦后移栽棉生育及生理特性对水分亏缺的响应[J]. 灌溉排水学报,2012,31(2):14-18.
Liu Hao, Zhang Jiyang, Wang Congcong, et al. Response of growth and physiological characteristics of transplanted cotton following wheat harvest to water deficit[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(2): 14-18. (in Chinese)
- 16 李鹏程. 基质育苗移栽棉花的生育与生理特性研究[D]. 武汉:华中农业大学,2009.
Li Pengcheng. Studies on the characteristics of growth development and physiology of seeding raising with soilless substrate and root-naked trans planting cotton[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- 17 张寄阳,段爱旺,申孝军,等. 基于蒸发量的膜下滴灌棉花灌溉预警装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(9):56-59.
Zhang Jiyang, Duan Aiwang, Shen Xiaojun, et al. Design and experiment of scheduling irrigation device based on pan evaporation

- for drip-irrigated cotton under plastic mulch[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 56 - 59. (in Chinese)
- 18 Zhang Xiyang, Chen Suying, Sun Hongyong, et al. Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat[J]. Irrigation Science, 2008, 27(1): 1 - 10.
- 19 申孝军. 棉花滴灌节水机理与优质高效灌溉模式[D]. 北京:中国农业科学院,2011.
Shen Xiaojun. Water-saving mechanism and optimal irrigation pattern for effective water use and high-quality of cotton under drip irrigation[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011. (in Chinese)
- 20 Lafarge T A, Hammer G L. Predicting plant leaf area production; shoot assimilate accumulation and partitioning, and leaf area ratio, are stable for a rang of sorghum population densities[J]. Field Crop Research, 2002, 77(2): 137 - 151.
- 21 Wang Chunyan, Isoda A, Li Maosong. Growth and eco-physiological performance of cotton under water stress conditions[J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(8): 949 - 955.
- 22 胡田田,康绍忠,李志军,等. 局部湿润方式下玉米对不同根区氮素的吸收与分配[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1): 105 - 113.
Hu Tiantian, Kang Shaozhong, Li Zhijun, et al. Uptake and allocation of nitrogen from different root zones of maize under local irrigation[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2009, 15(1): 105 - 113. (in Chinese)
- 23 田晓莉,杨培珠,何钟佩,等. 棉花根-冠关系的研究-根系伤流液及叶片中内源激素的变化[J]. 中国农业大学学报, 1999,4(5):92 - 97.
Tian Xiaoli, Yang Peizhu, He Zhongpei, et al. Changes of endogenous hormones in root exudates and leaf of cotton and the relation between root and growing stem[J]. Journal of China Agricultural University, 1999, 4(5): 92 - 97. (in Chinese)
- 24 董合忠,李维江,唐薇,等. 干旱和淹水对棉苗某些生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2003,23(10):1695 - 1699.
Dong Hezhong, Li Weijiang, Tang Wei, et al. Effects of water-deficit and water-logging on some physiological characteristics of cotton seedlings[J]. Acta Botanica Borealioccidentalia Sinica, 2003, 23(10): 1695 - 1699. (in Chinese)
- 25 Hu Xiaotang, Chen Hu, Wang Jing, et al. Effects of soil water content on cotton root growth and distribution under mulched drip irrigation[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(6): 709 - 716.
- 26 Stanhill G. Is the class a evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 112(3 - 4): 233 - 236.
- 27 Yuan B, Sun J, Nishiyama S. Effect of drip irrigation on srawberry growth and yield inside a plastic greenhouse[J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2004, 87(2): 237 - 245.
- 28 Yuan Baozhong, Kang Yaohu, Nishiyama Soichi. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouses[J]. Irrigation Science, 2001, 20(3): 149 - 154.
- 29 Yuan Baozhong, Nishiyama Soichi, Kang Yaohu. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip irrigated potato[J]. Agriculture Water Management, 2003, 63(3): 153 - 167.
- 30 Liu Haijun, Kang Yaohu. Sprinkler irrigation scheduling of winter wheat in the North China Plain using a 20 cm standard pan[J]. Irrigation Science, 2007, 25(2): 149 - 159.
- 31 Dogan E, Kirnak H, Berekatoglu K, et al. Water stress imposed on muskmelon (*Cucumis melo* L.) with subsurface and surface drip irrigation systems under semi-arid climatic conditions[J]. Irrigation Science, 2008, 26(2): 131 - 138.

Effects of Different Water Treatment on Yield and Water Use of Transplanted Cotton Following Wheat Harvest

Shen Xiaojun Sun Jingsheng Zhang Jiyang Gao Yang Wang Jinglei Liu Hao

(Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China)

Abstract: Water regulation has important influence on intransplanted cotton following wheat harvest. To investigate a suitable irrigation schedule of intransplanted cotton following wheat harvest, an experiment was conducted to study the effects of different water treatments on the water consumption, seed yield, water use efficiency and quality of intransplanted cotton following wheat harvest. Three irrigation level 45% ~ 50%, 60% ~ 65% and 75% ~ 80% FC were set as lower limit of soil moisture for plot experiment under a rainproof canopy at squaring stage and blooming-boll forming stage, respectively. 80% ~ 100% FC (T7), 60% ~ 80% FC (T8), 50% ~ 90% FC (T9) and 40% ~ 60% FC (T10) were set for pipe experiment from seeding stage to boll opening stage, respectively. Five irrigation quota

treatments, 1.6 (T11), 1.3 (T12), 1.0 (T13), 0.7 (T14) and 0.4 (T15) times of E_{Tp} (E_{Tp} was the accumulated of 20 cm pan evaporation during twice of the irrigation interval), were set for pot experiment and the irrigation time of each treatment was consistent with a cycle of 4 ~ 10 d, 3 ~ 7 d, 2 ~ 5 d and 4 ~ 10 d at seeding stage, squaring stage, blooming-boll forming stage and boll opening stage, respectively. The results were shown as follows, for plot experiment, seed yield, number of bolls per plant and single boll weight were maximum under T2, and the difference of seed yield was insignificant compared to T4, while WUE and IWUE decreased by 23.93% and 34.01%, respectively. For pipe experiment, the numbers of bolls per plant and seed yield were maximal under T7, where the seed yield decreased by 3.98% for T8 compared to CK while WUE and IWUE increased by 9.7% and 20.2%, respectively. For pot experiment, the numbers of bolls per plant and seed yield were maximal under T11, and seed yield increased by 9.7% and 30% compared to T12 and T13, respectively. This showed that moderate water stress was propitious to improve seed yield and WUE of intransplanted cotton following wheat harvest (lower limit 60% ~ 65% FC, upper limit 80% ~ 85% FC).

Key words: Cotton Seed cotton yield Water regulation Water use efficiency

(上接第 149 页)

Water Balance Models of Typical Forestland and Farmland in Three Gorges Reservoir Area with CoupModel

Wang Xian¹ Zhang Hongjiang¹ Lü Xianghai² Cheng Jinhua¹ Wang Wei³ Li Shiyu⁴

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. China International Engineering Consulting Corporation, Beijing 100048, China

3. Research Center for Environmental Protection and Transportation Safety, China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China

4. Chongqing Forest Resource Management Bureau of Simian Mountain, Chongqing 402296, China)

Abstract: Based on field measurement, the CoupModel (Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system) was applied to simulate water balance in three kinds of vegetation types, including broadleaved forest (*Schima superba* and *Lithocarpus glaber*), coniferous forest (*Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana*) and farmland (*Zea mays*) in Three Gorges Reservoir Area of China. The results showed that the simulated values of soil moisture were fairly consistent with measured ones and the determination coefficient (R^2) were 0.80 to 0.91. Evapotranspiration was main output of water balance with the percentage up to 61%, and the figures were ranked as follows: broad-leaved forest (720 mm/a) > coniferous forest (700 mm/a) > farmland (601 mm/a). Annual simulated deep percolation decreased by 60 mm for broad-leaved forest and 47 mm for coniferous forest compared with that for farmland (452 mm/a), and it was even greater in wet year. For broad-leaved forestland, water consumption was more than income during the experimental period, which was the main reason causing soil water deficit. The water balance of farmland was characterized by moisture surplus, while spring and autumn drought occurred in forestlands. There was obvious difference between forestland and farmland for water conditions. Model results indicated that the vegetation species significantly influenced the magnitude of water balance components, which called for further attention to the selection of tree-species when planning future afforestation projects. Forest tending should also be applied scientifically during the practice of vegetation restoration.

Key words: Three Gorges Reservoir Area Forestland Farmland Soil moisture Water balance CoupModel